



## DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE FLUIDO TÉRMICO PARA ENSAYO DE CICLO DE REFRIGERACIÓN POR ABSORCIÓN.

Fabio Dri<sup>1</sup> - Arturo Busso<sup>2</sup>, Judith Franco<sup>3</sup>

<sup>1</sup>MASISA SA. - Cel.0345 156268470 - e-mail: dri.fabio@gmail.com

<sup>2</sup>GER - Grupo en Energías Renovables. FaCENA – UNNE

<sup>3</sup>INENCO – CONICET - UNSa

**RESUMEN:** En este trabajo se exponen los detalles de diseño, ejecución y ensayo de un sistema de calentamiento de fluido térmico, concebido con el fin de ser utilizado para proporcionar energía térmica a un ciclo de refrigeración por absorción, de manera de contar con una fuente de energía versátil que permita el análisis del ciclo en distintas condiciones de trabajo, de forma de lograr la optimización del mismo para, finalmente, utilizar energía solar térmica como fuente para su funcionamiento. El diseño conceptual del conjunto está orientado a la obtención un caudal de fluido térmico variable entre 0,5 y 2 litros por minuto, con temperatura controlada en el rango de 100°C a 200°C y una potencia de hasta 1kW. La energía necesaria será obtenida desde la red eléctrica.

**Palabras clave:** energía solar, tecnología, refrigeración, fluido térmico, temperatura controlada, ciclo de absorción.

### INTRODUCCION

En el marco del convenio de la Universidad Nacional del Nordeste, Departamento de Física, y la empresa MTH S.R.L. se desarrolla el proyecto de refrigeración en base a la utilización de energía solar para alimentar un ciclo de refrigeración por absorción (Busso et al, 2007).

Para lograr este objetivo se propuso adaptar un ciclo de refrigeración por absorción comercial, fabricado por la empresa MTH S.R.L., de forma que pueda ser operado mediante el suministro de energía térmica obtenida de la radiación solar y transferida al ciclo a través de un fluido térmico. Para lograrlo se debe modificar el sistema original, el cual esta concebido para ser alimentado por medio de energía eléctrica o de gas envasado (Esquivel et al, 2006).

La modificación del sistema consiste en el diseño de un intercambiador de calor que permita transferir energía al ciclo de absorción en la cantidad necesaria y con el perfil de temperaturas que requiere para su correcto funcionamiento, lo que implica la realización de distintos ensayos hasta lograr estos requerimientos (Rajput, 1998).

La realización de estos ensayos consiste en proveer energía al ciclo de refrigeración a través del fluido térmico con un caudal y temperatura controlados, de forma de poder evaluar el comportamiento de una geometría de intercambiador determinada y, a su vez, que estas condiciones de ensayo sean fácilmente modificables para verificar la dinámica del sistema.

### OBJETIVOS

El objetivo del presente trabajo es el diseño y construcción de un sistema capaz de actuar como fuente de energía térmica utilizando un fluido térmico como vector de transporte de dicha energía. La fuente primaria será energía eléctrica de red (220V 50Hz)

El fluido térmico debe ser capaz de entregar energía a temperaturas entre 100°C y 200°C, controlada, y una potencia máxima de 1000W. El caudal de fluido térmico debe ser variable entre 0,5l/min y 2l/min.

### DISEÑO

El sistema se compone de tres módulos independientes a saber:

Módulo de almacenamiento de fluido térmico y control de flujo

Módulo de bombeo

Módulo de calentamiento de fluido térmico y control de temperatura

### Módulo de almacenamiento de fluido térmico y control de flujo

Está conformado por un depósito de fluido térmico de alrededor de 15 litros, el cual está aislado térmicamente del entorno por medio de un aislante de fibra de vidrio (Ver figura 1)

El fluido ingresa al depósito a través de un interruptor de caudal. Dicho interruptor tiene la función de enviar una señal de falla si el fluido térmico deja de llegar al depósito, lo cual implicaría una falla en el sistema de bombeo o una pérdida externa de fluido. El objetivo de este dispositivo es evitar que el módulo de calentamiento sobrecaliente el aceite que quede en su interior si se interrumpiera el flujo y evitar derrames de fluido si se dañara alguna parte del circuito hidráulico.

Este interruptor de flujo está formado por un microinterruptor que es accionado por el peso del fluido térmico acumulado en una copa que se mantiene llena mientras esté circulando fluido, pero que se vacía por un orificio calibrado inferior si se interrumpe el flujo (Ver figura 2).

Si en funcionamiento normal el interruptor de flujo da una indicación de falla, todo el sistema se detiene, tanto el módulo de calentamiento como el módulo de bombeo.

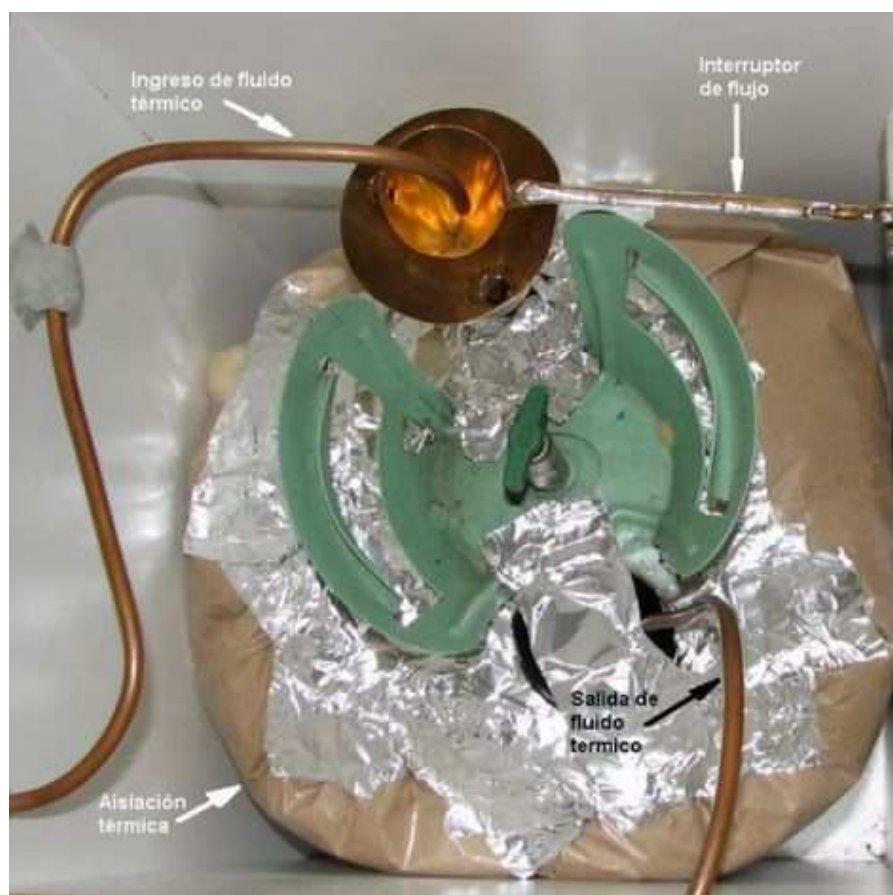


Figura 1: Vista superior del depósito de fluido térmico

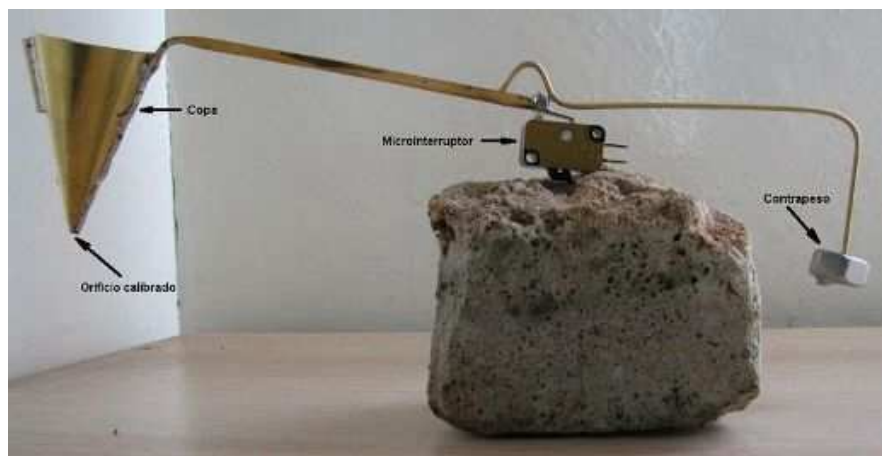


Figura 2: Detalle del interruptor de flujo

### Módulo de bombeo

El módulo de bombeo está compuesto por un motor eléctrico asincrónico trifásico marca WEG de 0,37kW, 1400rpm, el cual impulsa una bomba del tipo “de engranajes” de caudal nominal 2,5l/min a 1500rpm (Ver figura 3)

El motor se controla por medio de un variador de velocidad de corriente alterna por variación de frecuencia marca Telemecanique, modelo ATV18U18M2, elemento que permite seleccionar el caudal de trabajo deseado.



*Figura 3: Motor y bomba hidráulica*

### Módulo de calentamiento de fluido térmico y control de temperatura.

El módulo de calentamiento de fluido térmico se construyó con un serpentín de cobre pintado con pintura negra de alta temperatura y un calefactor de cuarzo externo con una potencia máxima de 1200W y tensión de alimentación de 220V. Esta configuración permitió evitar el contacto directo del aceite con el elemento calefactor, asegurando la estanqueidad del sistema y dando una rápida respuesta del sistema de control, ya que el volumen de aceite en el calefactor es pequeño y su flujo es constante a lo largo del sistema. Tanto el serpentín como la resistencia se introdujeron en un tubo metálico, el cual, posteriormente, se aisló térmicamente por medio de dos capas de lana de vidrio para asegurar el buen rendimiento de transferencia de energía hacia el aceite (Ver figura 4).



*Figura 4: Detalle de los componentes del calefactor y conjunto armado*

A la salida del calefactor se instalaron los elementos de medición de temperatura. Una termo resistencia de platino de 100Ohm a 0°C (Pt100) y dos termostatos de seguridad de 200°C (Ver figura 5).

La termo resistencia es el elemento de medición utilizado para el control de temperatura del fluido térmico, mientras que los termostatos, que están conectados en serie, cumplen una función exclusivamente de seguridad, de forma que si la temperatura de salida del sistema supera los 200°C tanto el módulo de calentamiento como el módulo de bombeo se detienen.

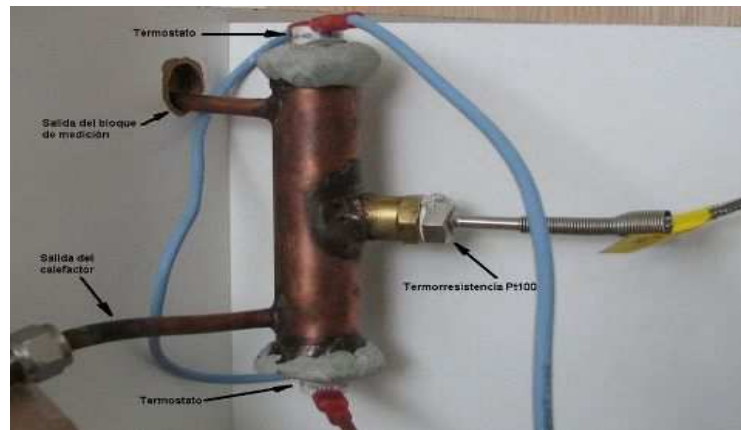


Figura 5: Detalle del bloque de medición de temperatura

El control de la temperatura se realiza por medio de un controlador de procesos marca OMRON (Ver figura 6), modelo E5CK, el cual toma la temperatura de salida de la unidad calefactora mediante la termo resistencia Pt100 y controla a través de un lazo de control PID la potencia entregada a la resistencia mediante modulación de ancho de pulso (PWM), es decir, el controlador conecta y desconecta la resistencia de calefacción de forma que la temperatura de salida se mantenga en el valor establecido en el mismo controlador. Esta conexión y desconexión es lo suficientemente rápida como para que la propia inercia térmica del calefactor permita obtener una temperatura del fluido térmico constante a la salida del mismo.

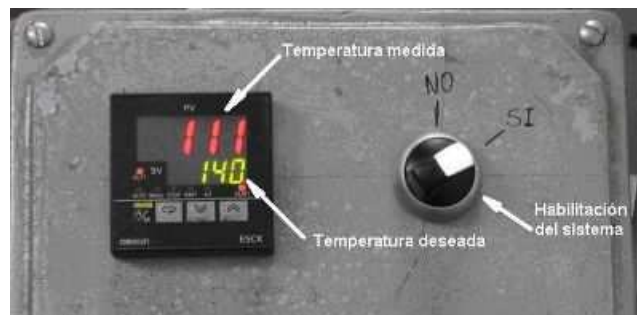


Figura 6: Controlador de temperatura

### Montaje del sistema

Los tres módulos se montaron sobre una estructura fabricada de tal forma que permita una conveniente separación y aislación térmica de cada módulo. Se realizó el conexionado hidráulico y eléctrico correspondiente integrando los módulos y dejando acceso exterior solamente al controlador de temperatura, variador de frecuencia y conexionado hidráulico de salida y entrada del sistema (Ver Figura 7).



Figura 7: Montaje del sistema sin la tapa superior de la estructura de montaje

## ANALISIS DEL SISTEMA.

Un ciclo de refrigeración por absorción del tipo utilizado en refrigeradores domésticos demanda una potencia de alrededor de 200W cuando es alimentado mediante una resistencia eléctrica.

La diferencia al alimentarlo mediante fluido térmico es que las pérdidas del sistema son mayores debido a las pérdidas en el mismo sistema de calentamiento, y además las pérdidas que se generan en las cañerías de conexión entre este sistema y el intercambiador del ciclo de absorción (Dri et al, 2009).

### Pérdidas del sistema de calentamiento

Se han medido las pérdidas del sistema de calentamiento conectando la salida del mismo a su propia entrada (sin pérdidas externas) y midiendo la corriente en la resistencia y el período activo del modulador de ancho de pulso. Esta medición dio como resultado una potencia de pérdidas cercana a los 300W con una temperatura de salida de 200°C.

### Caudal de la bomba de fluido térmico.

Se midió el caudal de la bomba mediante aforo en un recipiente a distintas frecuencias de salida del variador de velocidad, manteniendo la temperatura de salida a 150°C, y se obtuvo la siguiente tabla:

Frec. [Hz]	Caudal [l/min]
10	0,50
20	0,96
30	1,45
40	1,85
50	2,30

Estos caudales son solamente orientativos, ya que se ha verificado cierta variación en el caudal ante variaciones de temperatura del fluido, esto debido a cambios en el rendimiento de la bomba. Asimismo, estas variaciones son inferiores al 5% en el rango de temperaturas de 100°C a 200°C.

### Salto máximo de temperatura en el calefactor.

Dada una temperatura en el depósito de fluido térmico, la máxima temperatura que se obtendrá a la salida del sistema de calentamiento estará dada por la potencia que se puede aportar en el calefactor. Teniendo en cuenta que la potencia máxima del calefactor es de 1200W podemos dar la siguiente tabla:

Frec. [Hz]	Caudal [l/min]	$\Delta T$ [°C]
10	0,50	76,7
20	0,96	40,0
30	1,45	26,5
40	1,85	20,7
50	2,30	16,7

Esta tabla fue calculada suponiendo una temperatura de entrada al calefactor de 150°C. Los valores de salto de temperatura variarán en función de la temperatura de entrada debido a la variación de la capacidad calorífica del fluido térmico con dicha temperatura (ESSO Petrolera Argentina S.R.L. Fluidos Para transferencia Térmica, Manual de datos del fabricante).

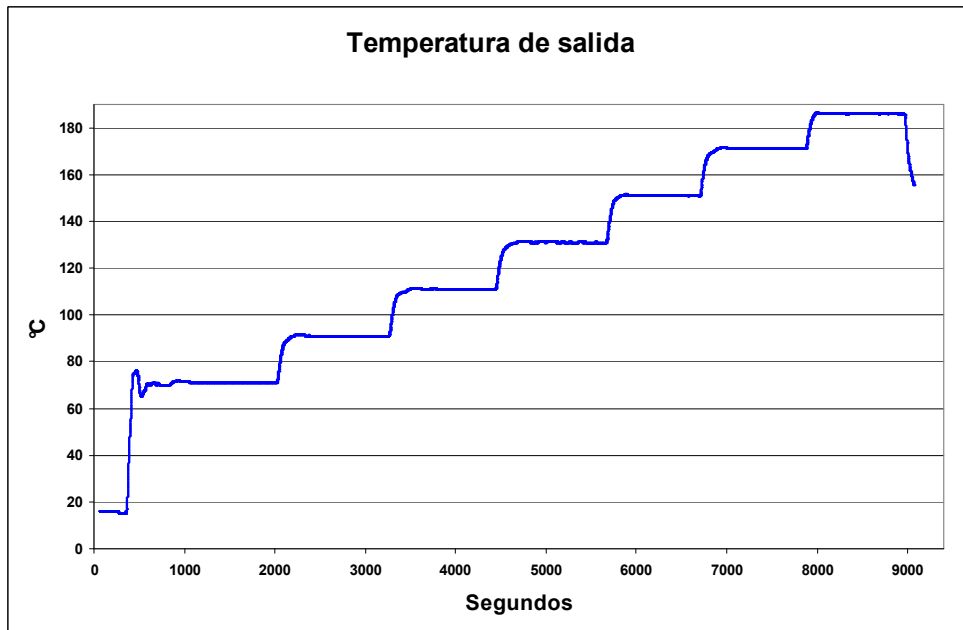
De lo antes expuesto se deduce que, para lograr temperaturas de salida elevadas, se deberá elevar lo suficiente la temperatura del depósito de fluido térmico.

## MEDICIONES DE LA RESPUESTA DEL SISTEMA

Se realizaron mediciones de la temperatura de salida del sistema para verificar su correcto funcionamiento. Para las mediciones se estableció una frecuencia de salida del variador de velocidad de 20Hz y utilizando como carga de salida un serpentín de caño de cobre desnudo de diámetro exterior de 6,25mm disipando calor al ambiente.

La temperatura de salida se hizo evolucionar en escalones cambiando la temperatura deseada en el controlador en saltos de 20°C (Ver Figura 8).





*Figura 8: Temperatura de salida del sistema de calentamiento de fluido térmico*

### CONEXIÓN AL CICLO DE REFRIGERACIÓN.

Una vez ensayado el sistema se coordinó con la empresa MTH S.R.L. para hacer la conexión al ciclo de absorción.

Para esto se modificó un ciclo de absorción estándar instalando un intercambiador de calor que permita utilizar el fluido térmico como fuente de energía y se hizo la conexión hidráulica (Ver Figura 9).



*Figura 9: Conexión a ciclo de absorción*

El intercambiador de calor incluido en el ciclo de absorción consistió en un tubo concéntrico a la bomba de burbujeo del ciclo, de alrededor de 200mm de longitud, con dos tubos de conexión de entrada/salida del fluido y aislado térmicamente del medio (en la Figura 9 solo se puede observar la aislación externa del intercambiador).

De esta manera quedaron conectados hidráulicamente la fuente de energía y el ciclo de refrigeración en condiciones de llevar adelante los ensayos (Ver Figura 10)



*Figura 10: Sistema de calentamiento y ciclo de refrigeración*

## CONCLUSIONES

Por medio del diseño modular del sistema de calentamiento de fluido térmico se logró un montaje compacto y seguro, capaz de cumplir con los objetivos planteados inicialmente y adaptado a los requerimientos necesarios para llevar adelante los ensayos con equipos de absorción.

Se realizó un primer ensayo para verificar el correcto funcionamiento del sistema de calentamiento, llevando la temperatura de salida hasta 200°C con un caudal de 1 l/min, logrando un excelente control de la temperatura.

Durante este primer ensayo, cuyo objetivo principal era evaluar el comportamiento del sistema de calentamiento, no se logró arrancar el ciclo de refrigeración. Las posibles causas son:

La distribución de temperaturas en el sistema no era la adecuada.

La tasa de crecimiento de la temperatura en la bomba de burbujeo es demasiado baja.

En la Figura 11 se pueden observar las temperaturas medidas sobre el ciclo de absorción, las cuales se corresponden con los siguientes puntos del ciclo:

- Tbb - Temperatura de la base de la bomba de burbujeo (generador)
- Tsol - Temperatura del punto superior del depósito de solución débil.
- Trec - Temperatura del rectificador.
- Tcond - Temperatura de salida del condensador.
- Tevap - Temperatura de entrada al evaporador.
- Ta - Temperatura ambiente.

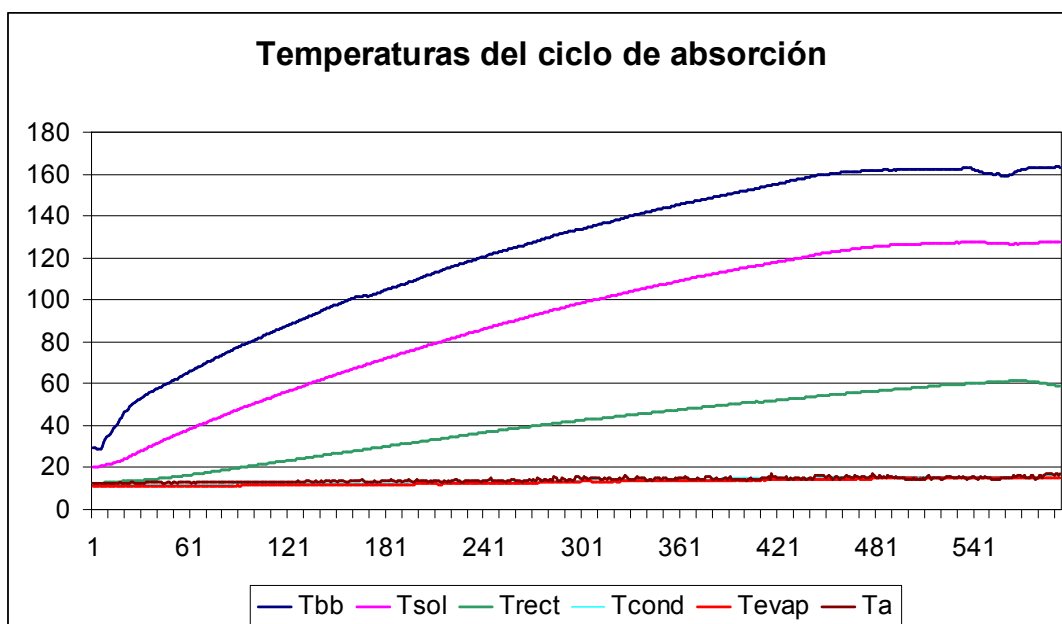


Figura 11: Diferentes temperaturas registradas sobre el ciclo de absorción

Es posible que el intercambiador de calor utilizado en este caso tenga una superficie de transferencia inferior a la necesaria para proporcionar suficiente cantidad de energía como para generar el perfil de temperaturas en el generador y rectificador del ciclo de absorción necesario para iniciar el funcionamiento del mismo.

En lo siguiente se deberá continuar con las pruebas hasta lograr la geometría de intercambiador y temperaturas adecuadas a fin de conseguir un correcto y eficiente funcionamiento del ciclo. En primera instancia, dando mayor área de intercambio y luego ajustando las temperaturas de proceso hasta lograr las condiciones necesarias para el funcionamiento.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Busso A., Esquivel O., Sogari N, Franco J. (2007). Uso de la Energía Solar como Fuente Térmica para el Funcionamiento de un Refrigerador por Ciclo de Absorción Amoníaco-Agua. Avances en Energía Renovable y Medio Ambiente. Vol.11.
- Esquivel, O. et al. (2006). Refrigeración solar mediante ciclo de amoníaco-agua acoplado a un concentrador solar. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas. Resumen T-058. Universidad Nacional del Nordeste. [www.unne.edu.ar/Web/cyt/cyt2006/07-Tecnologicas/2006-T-058.pdf](http://www.unne.edu.ar/Web/cyt/cyt2006/07-Tecnologicas/2006-T-058.pdf)
- ESSO Petrolera Argentina S.R.L. Fluidos Para transferencia Térmica, Manual de datos del fabricante.
- Fabio Dri, Arturo Busso, Marcelo Gea (2009). ENSAYOS DE UN CONCENTRADOR SOLAR CILINDRO PARABÓLICO CON FLUIDO CALOPORTADOR. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 13.
- Rajput R. K. (1998). Heat and Mass Transfer, S.Chand & Company Ltd, New Delhi.

**ABSTRACT:** This work presents the design, implementation and testing results of a heating system for thermal fluid. The heating system was conceived for powering an absorption refrigeration cycle as a way to have a versatile thermal energy source to analyze the cycle under different working conditions and optimize it for using it with solar energy as primary source. The conceptual design of the assembly is oriented to obtain a thermal fluid flow between 0,5 and 2 liters per minute, controlled temperature in the range of 100°C to 200°C and power output of up to 1kW. The energy needed is obtained from the electric grid.

**KEYWORDS:** Solar Energy, absorption refrigeration cycle, thermal fluid, controlled temperature.